

4. Авт. св. №1756502 А1 СССР, кл. E04F21/02. Устройство для набрызга текучей смеси / В.А.Галушко и др. (СССР) №4839683/33. Заявлено 18.06.90; Бюл. № 31-4.

Получено 24.07.2002

УДК 651.58

С.М.ЗОЛОТОВ, канд. техн. наук,  
Харьковская государственная академия городского хозяйства

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АКРИЛОВЫХ КЛЕЕВ**

Приводится математическая модель долговечности акриловых клеев, применяемых для анкеровки стальных стержней различного профиля.

В связи с широким использованием акриловых клеев в строительстве [1-3], особенно для анкеровки стальных стержней в бетоне необходимо прогнозировать их долговечность.

Долговечность соединений строительных конструкций акриловыми клеями зависит от сопротивления строительных материалов, входящих в соединение, действия агрессивных сред. Если долговечность бетона и стали достаточно изучена, то акриловый клей в этом отношении почти не исследовался.

Жидкие, газообразные агрессивные среды, проникая в материал, вступают с ним в химическое или физическое взаимодействие, что приводит к деградации материала. Деградация — это процесс ухудшения каких-либо свойств, качеств материала во времени. Интенсивность изменения свойств строительных материалов под действием жидких агрессивных сред зависит от механизма и скорости  $V_1$  переноса жидкости в твердое тело и от скорости  $V_2$  химического взаимодействия агрессивной среды с компонентами материала. Как правило, процессы переноса жидкости и ее химического взаимодействия с материалом протекают одновременно, но в зависимости от вида агрессивной среды, химического состава строительного материала, его структуры в определенные моменты времени может преобладать один из этих процессов.

Как показали эксперименты по изучению стойкости акриловых клеев к агрессивным воздействиям различных сред [4], скорости химического взаимодействия и переноса сопоставимы. Здесь соблюдается условие  $V_1 \neq V_2$ . Поэтому данный механизм деградации можно отнести к диффузионным, так как он возможен при диффузионном переносе жидкости в плотные химически стойкие материалы.

Этому механизму деградации соответствует определенная модель, которая представляется в виде изохрон деградации, показывающих, как изменяются свойства исследуемого композиционного материала [4]. В нашем случае принята модель деградации, позволяющая получить деградационные функции несущей способности, жесткости. Они взаимосвязаны таким образом, что, зная одну из них, можно установить все другие. Если принять в качестве основной функции деградацию, определяемую по несущей способности на сжатие образца акрилового клея, то в параметрическом виде ее можно записать выражением

$$D(t) = N(t)/N(0) = 1 - \beta(1 - \gamma) \cdot \alpha / h, \quad (1)$$

где  $\beta, \gamma, \alpha, h$  – параметры, характеризующие соответственно нелинейность изохрон деградации, химическую активность агрессивной среды, сорбционные свойства материала, масштабный фактор. Параметры деградации  $\alpha$  и  $\gamma$  находим из решения уравнений, определяющих  $V_1$  и  $V_2$ .

Известно, что скорость переноса жидкости в твердом теле в зависимости от механизма можно описывать уравнениями Фика или Дарси:

$$V_1 = \frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad \text{или} \quad V_1 = \frac{\partial c}{\partial t} = -D_\phi \frac{\Delta p}{l}. \quad (2)$$

Решая эти уравнения, получаем соответствующие выражения для определения параметра  $\alpha$ . В моделях деградации параметр  $\alpha$  характеризуется как координата фронта агрессивной жидкости или координата границы области, в которой под действием агрессивной жидкости произошли микроразрушения. Параметр  $\alpha$  находили по выражению:

$$\alpha = a = -D_\phi \frac{\gamma \cos \theta}{R_s} \cdot t, \quad (3)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии;  $D_\phi$  – коэффициент фильтрации;  $\gamma$  – поверхностное натяжение жидкости;  $\theta$  – угол смачивания;  $R_s$  – гидравлический радиус пор;  $t$  – время.

Величина параметра  $\gamma$  зависит от химической активности агрессивной среды. Значения параметра  $\gamma$  устанавливаем решением уравнения химического взаимодействия, имеющего вид:

$$V_2 = \frac{\partial c}{\partial t} = -k C_c^n C_m^m. \quad (4)$$

Здесь  $k$  – константа;  $C_c$  и  $C_m$  – концентрации соответственно агрессивной среды и реакционно способных компонентов в материале.

При условии, что  $n = m = 1$  и  $C_c = \text{const}$ , которая обычно обеспечивается в лабораторных условиях и на практике, решение уравнения (4) имеет вид

$$C_m = \exp\{-bt\}, \quad (5)$$

где  $b = kC_c$  – константа, характеризующая активность агрессивной среды;  $C_m$  – концентрация неразорванных связей композита в единице объема.

Учитывая, что значения модуля деформаций твердого тела прямо пропорциональны концентрации рабочих связей в единице объема, можем записать

$$E(t) = E(0)\exp\{-bt\}. \quad (6)$$

Тогда параметр  $\gamma = E(t)/E(0) = \exp\{-bt\}$ .

При экспериментах  $\gamma$  определяли по изменению твердости верхних слоев материала, непосредственно контактирующих с агрессивной средой.

Параметр  $\beta$ , характеризующий нелинейность изохрон деградации, изменяется в пределах от 0 до 1. Подставив значения  $\alpha$  и  $\gamma$  в формулу (1), получаем деградационную функцию вида:

$$D(t) = N(t)/N(0) = 1 - \beta(1 - \exp\{-bt\}) \cdot k(\xi) \cdot \sqrt{Dt}/h. \quad (7)$$

В формуле (7) коэффициент диффузии зависит от структуры материала. Зависимость  $D$  от крупности наполнителя  $r$  и расстояния  $\delta$  между зернами наполнителя можно выразить функцией

$$D = D_2 + \sqrt{\delta/r} \cdot D_1(1 - D_2/D_1), \quad (8)$$

где  $D_1$ ,  $D_2$  – коэффициенты диффузии соответственно для связующего и наполнителя. В нашем случае применяли очень плотный наполнитель (кварцевый песок), для которого можно принять, что  $D_2 \ll D_1$ . Тогда выражение (8) примет вид

$$D = \sqrt{\delta/r} \cdot D_1. \quad (9)$$

Подставив выражение (9) в формулу (7), получим функцию деградации, учитывающую влияние структурных параметров на процесс деградации:

$$D(t) = 1 - \beta(1 - \exp\{-bt\}) \cdot k(\xi) \cdot \sqrt{(\delta/r)^{0.5}} D_1 t / h. \quad (10)$$

Предполагаем, что структуру материала можно описать моделью, состоящей из элементов, описывающих упругие и вязкие свойства матрицы, наполнителя и деградационного слоя.

Используя символический метод условной жесткости, получим выражение, описывающее изменение модуля упругости от соотношения упругих и вязких свойств компонентов акриловой композиции:

$$E = \frac{E_n V_n + k_c E_c / (V_c \cdot [k_c + E_c])}{1 - V_d \cdot V_n \cdot E_n \cdot \frac{k_d + E_d}{k_d \cdot E_d} + \frac{V_d}{V_c} \cdot \frac{k_d + E_d}{k_c + E_c} \cdot \frac{E_c \cdot k_c}{E_d \cdot k_d}}, \quad (11)$$

где  $V_c, V$  – соответственно объемное содержание связующего и наполнителя, не вступивших во взаимодействие с агрессивной средой;  $V_d$  – объемное содержание композита, подвергшегося действию агрессивной среды;  $k_d = k_c \cdot \exp(-bt)$ ;  $E_d = E_{d0} \cdot \exp(-bt)$  – коэффициент экспоненциального уравнения.

Полученная зависимость (11) позволяет, учитывая соотношения модулей упругости матрицы и наполнителя, размеры элемента, толщину деградационного слоя и коэффициент диффузии или время экспонирования, определять изменение модуля упругости под действием агрессивных сред.

Для получения деградационных функций, учитывающих влияние структурных параметров на изменение свойств полимерных композитов, воспользуемся зависимостью (1). При этом для моделей, у которых свойства материала на поверхности с течением времени снижаются, параметр  $\gamma = E_1(t) / E(0)$  определяется следующим образом:

$$\gamma = \frac{1}{1 + \left[ \frac{E_n}{E_c} \cdot \left( 1 + \frac{E_c}{k_c} \right) \cdot V_n \cdot \frac{G}{1+G} + \frac{G}{1-V_n(1+G)} \right] \frac{1}{\exp(-bt)}}, \quad (12)$$

где  $G$  – относительный объем деградационного материала.

После подстановки выражения (12) в уравнение (1) получаем деградационную функцию несущей способности, учитывающую влияние структурных параметров, размеров элемента, коэффициента диффузии и времени экспонирования на деградацию полимерного материала в условиях действия агрессивных сред:

$$D(N) = 1 - \beta \frac{k(\xi) \sqrt{D_1 t (\delta / r)^{0.5}}}{h} \times \left\{ \frac{\exp\{-bt\}}{1 + \left[ \frac{E_n}{E_c} \left( 1 + \frac{E_c}{k_c} \right) \cdot V_n \cdot \frac{G}{1+G} + \frac{G}{1-V_n(1+G)} \right] \frac{1}{\exp(-bt)}} \right\}$$

Эта функция была применена для прогнозирования долговечности клеевой композиции на основе акрилового полимера. Расчеты показали, что долговечность такого материала в зависимости от его состава колеблется от 43 до 50 лет. Натурные наблюдения за анкерами указанного типа в течение более 20 лет подтвердили долговечность акриловых клеев.

1.Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Клименко В.З. и др. Клеевые соединения древесины и бетона в строительстве. – К.: Будівельник, 1990. – 136 с.

2.Шутенко Л.Н., Золотов С.М., Гарбуз А.О. Использование акриловых клеев для реконструкции и ремонта зданий и сооружений // Будівельні конструкції: 36. наук. праць. Вип. 54. – К.: НДБК, 2001. – С.810-814.

3.Золотов С.М. Акриловые клеи для крепления анкерами башенных сооружений // Будівельні конструкції, будівлі та споруди: 36. наук. праць. Вип. 2001-5. – Макіївка: ДонДАБА, 2001. – С.179-182.

4.Золотов С.М. Стойкость акриловых клеев к агрессивным воздействиям // 36. наук. праць «Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». Вип. 7. – рівне: РДГУ, 2001. – С.41-50.

5.Золотов С.М. Оценка долговечности клеевых композиций на основе акриловых полимеров // Прогнозирование в материаловедении: Материалы к 41-у международному семинару по моделированию и оптимизации композитов. – Одесса: ОГАСА, 2002. – С.181-182.

Получено 03.09.2002

УДК 678.5.033 : 532.135 : 541.6

А.Н.РОССОХА, А.Н.ЧЕРКАШИНА, кандидаты техн. наук

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

## СТРУКТУРНО-ГРУППОВОЙ СОСТАВ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФУРАНО-ЭПОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Приводятся исследования структурно-группового состава и реологических свойств композиционных систем на основе фурано-эпоксидных реакционноспособных олигомеров, в состав которых входят дисперсные наполнители. Определены аналитические зависимости, характеризующие относительную вязкость системы от степени наполнения.